第37卷 第1期　　昆 虫 学 报　　Vol. 37. No. 1
1994年2月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Feb., 1994

镶嵌式交替防治对菜蚜抗性演化的影响*

唐振华　韩启发　庄佩君
(中国科学院上海昆虫研究所，上海　200025)

摘要　鉴于镶嵌式防治不适用于营孤雌生殖的菜蚜无翅成蚜，于是作者对镶嵌式防治在时空上稍作微细的改变，即先以作用机理不同的杀虫剂A和B在不同区域作镶嵌式的喷洒，而后在下一次作交替防治，这相当于邻近区域间存活个体的互相迁飞。我们称此法为镶嵌式交替防治。在上海梅陇地区，自1985年以来使用这一策略防治菜缢管蚜 (*Lipaphis erysimi pseudobrassicae*)、桃蚜 (*Myzus persicae*)和柳二尾蚜(*Cavariella salicicola*)。根据生物测定和单个蚜虫的酯酶活性测定，在分别与连续使用乐果直至无效，然后改用氰戊菊酯防治的菜蚜种群比较时，所得结果表明，乐果和氰戊菊酯的镶嵌式防治能延缓这些菜蚜抗性的产生。

关键词　菜蚜　抗药性演化　镶嵌式交替防治

众所周知，害虫抗药性在全世界日趋严重。据不完全统计，到1986年底至少有490种昆虫(包括螨类)对一种或几种杀虫剂产生抗药性 (Georghiou, 1987)。抗性治理已成为一门新兴的分支学科。在抗性治理策略的研究中，英国学者 Curtis 等(1978)为了阻缓蚊虫抗药性的发展，提出了以一种杀虫剂进行镶嵌式防治 (mosaic control) (见图1 A) 的策略。后来 Georghiou (1983)又提出了以几种作用机理不同的杀虫剂进行镶嵌式防治(见图1 B)。为了评估这一策略的效果，作者应用由一定抗性个体频率的淡色库蚊 (*Culex pipiens pallens*) "合成群体"进行了室内模拟试验，模拟的结果表明，这一策略仅在一定条件下，即对单因子遗传的抗性能大大地抑制其抗性的发展，而对多因子遗传的抗性基本无效(唐振华和张朝远，1993)。

但是，镶嵌式防治不适用于蚜虫，因为蚜虫一般营孤雌生殖，活动性小，如连续使用单一的杀虫剂，由于无交配、无迁飞，它们往往是产生均匀抗性 (uniform resistance)，对群体内的抗性基因频率无稀释作用。于是，作者提出了镶嵌式交替防治，即对镶嵌式防治在时空上稍作微细的改变。在上海梅陇乡蔬菜区应用这一策略防治菜缢管蚜、柳二尾蚜和桃蚜等菜蚜，获得了初步成功。现将这些结果报告如下。

材 料 与 方 法

一、供试药剂

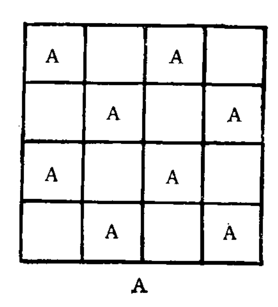
乐果(95%)和杀螟硫磷(97.1%)分别为上海农药厂和德国 Bayer 公司产品；氰戊菊酯(94.7%)和溴氰菊酯 (98%) 分别为日本住友化学公司和法国 Roussel Uclaf 公司产品。以上的药剂用于点滴法。浸渍法用40%乐果和20%氰戊菊酯乳剂。

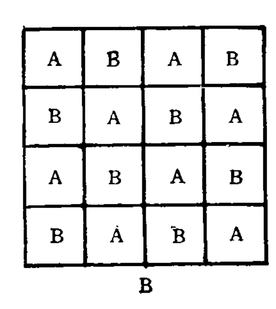
本文于1991年8月收到。

* 参加本研究的还有上海市农科院植保所、上海石化总厂环保所和上海县梅陇植保站，特此致谢。

二、镶嵌式交替防治的实验设计

在上海地区选择用药历史不同的两个试验点：上海县梅陇乡和金山县金卫乡。前者是解放前就种植蔬菜的老区，用药历史和用药水平都大大地高于后者。后者是于 70 年代中期为新建的上海石油化工总厂的居民提供蔬菜的新蔬菜区。在金卫地区，1983 年前一直使用乐果等有机磷剂防治菜蚜，后来因防治效果下降而换用氰戊菊酯。在梅陇地区先后使用乐果、磷胺和乙酰甲胺磷等有机磷剂，以及氰戊菊酯等拟除虫菊酯。自 1985 年以来，根据我们的建议，对菜蚜用乐果和氰戊菊酯进行镶嵌式交替防治，即如图 1 C 所示，将菜地分成不同的防治自然小区，按图 1 C 的模型用有机磷剂和拟除虫菊酯在每个季节交替防治。这样，用杀虫剂 A 防治区域内的存活者（R^A）对杀虫剂 B 是敏感的。反之亦然，B 区的存活个体（R^B）对杀虫剂 A 是敏感的。旨在以作用机理不同的杀虫剂作镶嵌式交替防治来克服因营孤雌生殖而产生的均匀抗性的弊端。





A(B)	B(A)	A(B)	B(A)
B(A)	A(B)	B(A)	A(B)
A(B)	B(A)	A(B)	B(A)
B(A)	A(B)	B(A)	A(B)

C

图 1 镶嵌式防治三种形式的模型

A. 以一种杀虫剂 A 进行的镶嵌式防治 B. 以杀虫剂 A 和 B 进行的镶嵌式防治 C. 以杀虫剂 A 和 B 进行的镶嵌式交替防治

三、生物测定

菜蚜的测定采用点滴法和浸渍法，方法详见《农业害虫抗药性》一书（唐振华、黄刚，1982）。

测定的结果均用根据 Finney 机率值法编制的计算机程序机算 LC_{50} 或 LD_{50}，95% 可信限，回归方程式和 X^2 值。因所得数据未见任何异质性，为了节省篇幅文内仅列出 LC_{50} 或 LD_{50}，其余均省略。

四、单个蚜虫的酯酶活性测定

详见唐振华等（1988a）的方法。

结 果

一、梅陇和金卫地区菜缢管蚜抗性发展的比较

在 1979、1983 和 1987 年用浸渍法测定的结果表明，金卫的菜缢管蚜对乐果的 LC_{50} 分别为 68.21、189.04 和 398.10 ppm。1983 和 1987 年的 LC_{50} 分别是 1979 年的 2.8 和 5.8 倍。梅陇种群在同年的 LC_{50} 分别为 75.32、195.30 和 205.36 ppm。1983 和 1987 年的 LC_{50} 分别是 1979 年的 2.6 和 2.7 倍。

在 1981、1985 和 1988 年用浸渍法测定了这两个种群对氰戊菊酯的敏感度变化。金

卫种群的 LC_{50} 分别为 1.78、8.86 和 14.10 ppm。1985 和 1988 年的 LC_{50} 分别是1981年的 5.0 和 7.9 倍。而梅陇种群在同年的 LC_{50} 分别为 1.56、3.32 和 5.64 ppm。在 1985 和 1988 年的 LC_{50} 分别为 1981 年的 2.1 和 3.6 倍。

我们于 1987—1988 年又用点滴法测定了上海梅陇和金卫地区菜缢管蚜对常用的乐果和杀螟硫磷以及氰戊菊酯和溴氰菊酯的抗药性，测定结果如表 1 所示。金卫地区的菜缢管蚜对所有测定杀虫剂的敏感度反而比用药历史久的老蔬菜区梅陇种群来得低，对乐果和杀螟硫磷分别低 5.7 倍和 4.0 倍；对氰戊菊酯和溴氰菊酯分别低 12.3 和 2.6 倍。

表 1　上海梅陇和金卫地区菜缢管蚜对有机磷剂和拟除虫菊酯的抗药性

药剂	LD_{50}（微克/蚜）		相对倍数（金卫/梅陇）
	梅陇种群	金卫种群	
乐果	1.42×10^{-3}	8.05×10^{-3}	5.7
杀螟硫磷	2.19×10^{-3}	8.73×10^{-3}	4.0
溴氰菊酯	1.17×10^{-5}	3.01×10^{-5}	2.6
氰戊菊酯	8.18×10^{-5}	1.01×10^{-3}	12.3

从 1989 年的田间试验也获得较一致的结果。用 15 克/亩（以有效成份计）的乐果和 4.0 克/亩的氰戊菊酯防治时，在金卫地区的防治效果分别为 43% 和 40%，而在梅陇地区可达 80.6% 和 86%。

二、梅陇和金卫地区桃蚜抗性发展的比较

在 1979、1983 和 1987 年用浸渍法测得金卫桃蚜对乐果的 LC_{50} 分别为 63.50、168.23 和 328.68 ppm。1983 和 1987 年的 LC_{50} 分别是 1979 年的 2.7 和 5.2 倍。梅陇种群在同年的 LC_{50} 分别为 65.72、156.68 和 232.32 ppm。1983 和 1987 年的 LC_{50} 分别是 1979 年的 2.4 和 3.5 倍。

在 1981、1985 和 1988 年用浸渍法测得金卫种群对氰戊菊酯的 LC_{50} 分别为 1.56、4.62 和 12.76 ppm。1985 和 1988 年的 LC_{50} 分别是 1981 年的 3.0 和 8.2 倍。梅陇种群在同年的 LC_{50} 分别为 1.64、5.20 和 6.88 ppm。1983 和 1987 年的 LC_{50} 分别是 1981 年的 3.2 和 4.2 倍。

在 1988—1989 年又用点滴法测定了这两个地区桃蚜对常用有机磷和拟除虫菊酯的抗药性，测定结果如表 2 所示。金卫种群对测定的乐果、杀螟硫磷、氰戊菊酯和溴氰菊酯

表 2　上海梅陇和金卫地区桃蚜对有机磷和拟除虫菊酯的抗药性

药剂	LD_{50}（微克/蚜）		相对倍数（金卫/梅陇）
	梅陇种群	金卫种群	
乐果	0.0451	0.0861	1.9
杀螟硫磷	0.0501	0.1504	3.0
溴氰菊酯	1.204×10^{-5}	5.043×10^{-5}	4.2
氰戊菊酯	1.206×10^{-4}	5.427×10^{-4}	4.5

的 LD_{50} 分别是梅陇种群的 1.9、3.0、4.5 和 4.2 倍。

由于田间桃蚜的数量低而未作田间试验。

三、梅陇和金卫地区柳二尾蚜抗性发展的比较

在 1987—1988 年用点滴法测定了上海梅陇和金卫地区柳二尾蚜对常用杀虫剂的抗药性，测定结果见表 3。从表 3 可以看出，梅陇种群也是比金卫种群敏感，金卫种群对乐果和杀螟硫磷的 LD_{50} 分别是梅陇种群的 5.0 和 4.1 倍；对溴氰菊酯和氰戊菊酯分别是梅陇种群的 382.4 和 185.0 倍。

表 3 上海梅陇和金卫地区柳二尾蚜对有机磷和拟除虫菊酯的抗药性

药剂	LD_{50}（微克/蚜）		相对倍数（金卫/梅陇）
	梅陇种群	金卫种群	
乐果	1.33×10^{-3}	6.63×10^{-3}	5.0
杀螟硫磷	9.08×10^{-4}	3.68×10^{-3}	4.1
溴氰菊酯	6.38×10^{-5}	2.44×10^{-3}	382.4
氰戊菊酯	1.22×10^{-5}	2.26×10^{-3}	185.0

四、梅陇和金卫地区菜缢管蚜、桃蚜和柳二尾蚜的单个蚜虫酯酶活性的测定结果

由于这三种菜蚜的抗性与酯酶有关（唐振华等，1988 a、b），为了进一步证实生物测定的结果，以 α-醋酸萘酯（α-NA）为底物，测定了三种群的单个蚜虫酯酶活性频度分布，测定结果见表 4。如根据单个蚜虫的 α-NA 酯酶活性，即光密度值（OD_{600}）计，$OD_{600} \leqslant 0.4$ 为低活性个体；$0.4 < OD_{600} \leqslant 1.0$ 为中等活性个体，$OD_{600} > 1.0$ 为高活性个体，则这三种菜蚜的金卫和梅陇种群中的 α-NA 酯酶活性频度分布见表 4。从表 4 可以看出，在金卫种群中具有低度、中等和高酯酶活性的菜缢管蚜频度分别为 31、69 和 0%；在梅陇种群中分别为 62、38 和 0%。桃蚜的频度分布对金卫种群分别是 42、58 和 0%；对梅陇种群分别为 80、20 和 0%。柳二尾蚜的频度分布对金卫种群分别是 2、26 和 72%；对梅陇种群分别是 4、46 和 50%。从单个蚜虫酯酶活性频度分布也表明，金卫地区三种菜蚜的中等或高酯酶活性的个体均高于梅陇种群。这一结果与生物测定的结果是一致的。

表 4 上海梅陇和金卫地区菜蚜的单个蚜虫的酯酶活性频度分布

虫种	种群	酯酶活性(OD/蚜)%		
		低活性	中等活性	高活性
菜缢管蚜	金卫	31	69	0
	梅陇	62	38	0
桃蚜	金卫	42	58	0
	梅陇	80	20	0
柳二尾蚜	金卫	2	26	72
	梅陇	4	46	50

讨　论

无论是从金卫和梅陇地区三种菜蚜的抗性测定结果，还是从它们的单个蚜虫的酯酶活性频度分布都表明，用杀虫作用不同的杀虫剂进行镶嵌式防治可延缓营孤雌生殖的三种菜蚜抗性的发展。其实镶嵌式防治是设法为敏感个体在时空上提供“庇护所”。因此，迄今有三种形式的镶嵌式：第一种为 Curtis 等提出的以一种杀虫剂的镶嵌式防治（如图 1 A)，保留一部分地区不防治，让敏感个体免受药剂选择，仅用高杀死策略（即杀死全部敏感个体（SS）和杂合子（RS）个体)防治 A 区。这样让周围未防治的敏感个体（SS）迁入防治区，并与防治后存活的抗性个体（RR）交配，产生抗性较低的杂合子（RS)。如此逐代防治后，可因 SS 个体的迁入对群体内的抗性基因频率有稀释作用，从而阻止或延缓其抗性的发展。应用这种策略的关键是要有足够数量的 SS 个体。因此，Curtis 等又提出同时释放敏感的雄蚊，并收到了很好的效果（Curtis 等，1978)。

第二种形式的镶嵌式防治是由 Georghiou 在1983 年提出的，以几种作用方式不同的杀虫剂镶嵌式防治（如图 1 B)。因为第一种形式要保留一部分地区不防治，实际应用时农民对此难于接受。这样 Georghiou 提出的设想可避免一部分地区不防治，但同样可以达到阻止或延缓抗性的发展。因为用杀虫剂 A 防治后，带 R^A 基因的存活个体对杀虫剂 B 是敏感的。反之，在用杀虫剂 B 防治后，R^B 个体对杀虫剂 A 是敏感的。两个处理区的存活个体互相迁飞、交配后其后代为杂合子 R^AS^B 和 R^BS^A。经作者等在室内应用模型昆虫进行模拟的结果表明，这种策略仅对单因子遗传的抗性有效，而对多因子抗性基本无效(唐振华和张朝远，1993)。另外，若是应用二种以上杀虫作用不同的杀虫剂进行镶嵌式防治，则效果一定会更好。

第三种镶嵌式防治即为本文所提出的应用几种杀虫机理不同的杀虫剂进行的镶嵌式交替防治。因为上述的两种镶嵌式防治都是针对营两性生殖的迁移性较大的害虫提出来的。如前所述，它们不适用于防治营孤雌生殖的无翅成蚜，因为单一药剂选择后产生的抗性属均匀抗性。这种抗性一旦产生后，不但抗性比较稳定，而且抗性种群上升很快。除非 RR 和 RS 个体的适合度较低。我国山东棉蚜的抗性就是一个很好的例证（孙耘芹等，1987)。为了从山东棉蚜抗性中吸取教训，设法克服营孤雌生殖的蚜虫产生均匀抗性，作者等于 1985 年在 Georghiou 的镶嵌式防治的基础上，在时空上稍作改变，即作镶嵌式交替防治，以此来弥补因孤雌生殖和迁移小而产生的均匀抗性。镶嵌式交替防治与轮用的差异在于轮用往往是“地毯式”的全面防治，使蚜虫个体的不定向变异经单一杀虫剂的选择成为群体遗传结构的定向变异，从而缺乏多样性。而镶嵌式交替防治可避免这一点。因此，若用多种杀虫机理的杀虫剂作镶嵌式交替防治也许会收到更好的效果。

从上海梅陇蔬菜区自 1985 年以来使用的情况以及本文试验的结果都证明，镶嵌式交替防治可延缓菜蚜抗性的产生。但对于已集聚多种抗性基因的群体是否有效尚待作进一步深入的研究。不过，这一策略作为一种预防性抗性治理策略无疑是可行的。

参 考 文 献

唐振华、黄刚 1982 农业害虫抗药性。农业出版社 北京。
唐振华、庄佩君、韩启发、黎云根 1988 a 上海地区菜缢管蚜对有机磷的抗药性及其生化检测。植物保护学报 15(1): 63—6
唐振华、庄佩君、韩启发、黎云根 1988 b 上海地区柳二尾蚜对有机磷和拟除虫菊酯的抗药性。昆虫学研究集刊 8: 11—6
唐振华、张朝远 1993 镶嵌式防治对抗性演化影响的论证。昆虫学报 36(2): 185—9。
孙耘芹等 1987 棉蚜对有机磷杀虫剂抗性的生化机理。昆虫学报 30(1): 13—20。
Curtis, C. F. et al. 1978 Selection for and against insecticide resistance and possible methods of inhibiting the evolution of resistance in mosquitoes. *Ecol. Entomol.* 3: 276.
Georghiou, G. P. 1983 Management of resistance in arthropods. In Pest Resistance to Pesticides. Georghiou, G. P. and T. Saito (eds.) New York, Plenum Publishing, pp. 769—792.
Georghiou, G. P. 1987 Insecticides and Pest Resistance: The Consequences of Abuse. Faculty Research Lecture, Academic Senate, Univ. of Calif., Reverside, p. 27.

EFFECT OF MOSAIC ROTATION CONTROL ON EVOLUTION OF INSECTICIDE RESISTANCE OF APHIDS IN SHANGHAI

TANG ZHEN-HUA HAN QI-FA ZHUANG PEI-JUN
(*Shanghai Institute of Entomology, Academia Sinica, Shanghai* 200025)

The mosaic control with insecticides seems not suitable for insects such as aphids which reproduce by parthenogenesis and have low mobility in apterous form. In the present study we adopted another strategy by spraying unrelated insecticides at first and then exchanging or rotating the spraying in different areas in next terms. Since 1985, this strategy has been adopted to control the aphids on vegetables in Meilong, a suburban county of Shanghai. The aphids included *Lipaphis erysimi pseudobrassicae*, *Myzus persicae* and *Cavariella salicicola*. Based on bioassay and determination of α-Na esterase activity in single aphids, we found mosaic rotation of dimethoate and fenvalerate can delay the development of insecticide resistance in the above three species of aphids, as compared with continued use of dimethoate followed by continued use of fenvalerate to the point where control was impaired by resistance.

Key words aphid——insecticide resistance——mosaic rotation control